

CODEN: IBBRAH (9-81)1-37 (1981)

INSTITUUT VOOR BODEMVRUCHTBAARHEID

RAPPORT 9-81

ZOUTOPHOPING EN -UITSPOELING IN SAMENHANG MET HET DRUPPELSYSTEEM BIJ DE
TEELT OP STEENWOL

*With a summary: The influence of the drip system upon the accumulation
and leaching of salts in rockwool cultures*

door

M. VAN NOORDWIJK en P.A.C. RAATS

1981

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Oosterweg 92, Postbus 30003,
9750 RA Haren (Gr.)

Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp. 9-81 (1981) 37 pp.



INHOUD

1. Probleemstelling	3
2. Zout- en wortelverdeling in een komkommerteelt	5
3. Mineralenbalans van een komkommerteelt	12
4. Uitspoeling van opgehoopte zouten	14
5. Hoeveel doorspoeling is noodzakelijk?	20
6. Benodigde buffervoorraad	26
7. Praktische adviezen	33
8. Samenvatting	34
9. Summary	35
10. Literatuur	37

1. PROBLEEMSTELLING

Bij onderzoek in 1977 aan een tomatenteelt op steenwol (Van Noordwijk, 1978) bleek dat er zich tijdens de teelt op bepaalde plaatsen in de steenwolmat zouten ophoopten. De consequenties van deze heterogeniteit in zoutgehalte voor de bemonsteringstechniek zijn verder onderzocht door Van der Wees (1978), die voorstelde, wegens zoutophoping, de "dode hoeken" niet mee te nemen bij het maken van een mengmonster. Naast de elektrische geleidbaarheid (EC) mat Van der Wees ook afzonderlijke ionen, waarbij in zijn geval bleek dat nitraat, fosfaat en kalium niet en chloride en magnesium in lichte mate ophoopten in "dode hoeken". De niet gemeten ionen sulfaat en calcium zullen waarschijnlijk het leeuwedeel van de totale zoutophoping daar moeten verklaren. Dit geeft aan dat er twee aspecten zijn aan de lokale zoutophoping:

- 1) het ontstaan van verhoogde zoutconcentraties door onevenwichtige opname van water en van diverse nutriënten, alles ten opzichte van de aanwezige concentraties, en
- 2) de verplaatsing van de voedingsoplossing in de steenwolmat.

Het *eerste* aspect is te beïnvloeden door de samenstelling van de voedingsoplossing zo goed mogelijk met de opname overeen te laten komen. De concentratie van een ion zou in het ideale geval gelijk moeten zijn aan de dagelijkse opname van dat ion gedeeld door de dagelijkse wateropname. De wateropname is veel sterker dan de mineraalopname afhankelijk van wisselingen in het kasklimaat. Uitgaande van alleen mineraalbalansen zou de onderlinge verhouding van de ionen overeen moeten komen met de opnamebehoefte. Maar in de praktijk blijkt bijvoorbeeld dat voor een voldoende opname van calcium de concentratie van calcium relatief hoog moet zijn t.o.v. de concentratie van kalium (Steiner, 1966). Dit betekent dat het ontstaan van zoutophopingen nooit geheel te vermijden is. Tabel I toont dit effect voor een tomatenteelt op steenwol. Bij een waterverbruik van 2 à 3 l plant⁻¹ dag⁻¹ zijn de concentraties van N, P en K ongeveer in evenwicht, maar Ca, Mg en S hopen op. De tolerantiegrenzen voor gehalten in de mat beslaan een traject van 2 à 3 (hoogste/laagste waarde).

Het *tweede* aspect, de verplaatsing van de voedingsoplossing in de mat, is afhankelijk van de geometrie van het gietsysteem: plaatsing van druppelaars en uitstroomopeningen, de gietfrequentie en de transport-eigenschappen van het materiaal. Deze laatste punten vormen het onderwerp van dit rapport, waarin metingen besproken worden, gedaan op de proeftuin Sappemeer in 1978 en van laboratoriummetingen aan transport in steenwol. Vanuit metingen aan, en theoretische beschouwingen over, de zoutophoping en de transporteigenschappen van het materiaal, worden praktische adviezen afgeleid.

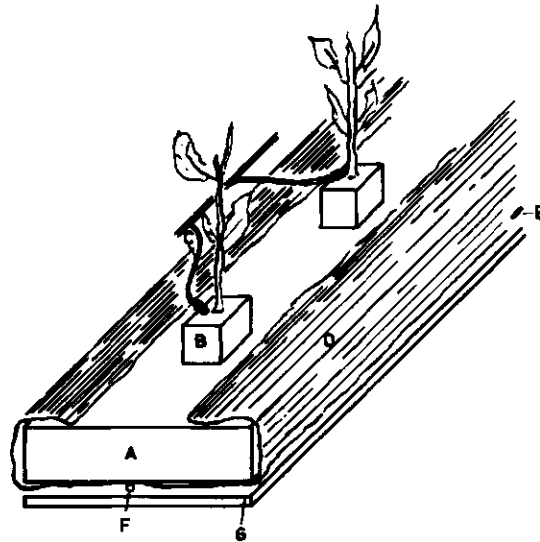
TABEL I. Geschatte dagelijkse mineraalopname door een snel groeiend tomatengewas vergeleken met de geadviseerde samenstelling van de voedingsoplossing. De opname door het gewas is gebaseerd op 3 g drogestof (d.s.) vegetatief + 7 g d.s. generatief $\text{plant}^{-1}\text{dag}^{-1}$ met gehalten volgens Steiner (mond.med.). De voedingsoplossing met de acceptabele variatie in gehalten in de steenwolmat is die volgens Sonneveld en Van der Wees (1980). De laatste kolom geeft de verhouding tussen "opnameconcentratie" (= mineraalopname/wateropname) en systeemconcentratie, bij een wateropname van $2,5 \text{ l plant}^{-1}\text{dag}^{-1}$.

TABLE I. Estimated daily uptake of minerals by a rapidly growing crop of tomatoes compared with the recommended composition of the nutrient solution. Uptake by the crop is based on 3 g dry matter (d.m.) vegetative growth plus 7 g d.m. reproductive growth $\text{plant}^{-1}\text{day}^{-1}$ with contents according to Steiner (pers.comm.). The nutrient solution with the acceptable variation in contents in the rockwool mat is the one according to Sonneveld and Van der Wees (1980). The last column indicates the ratio between "uptake concentration" (= uptake of minerals/uptake of water) and system concentration, assuming a rate of water absorption of $2.5 \text{ l plant}^{-1}\text{day}^{-1}$.

Opname	mg plant ⁻¹ dag ⁻¹	Samenstelling mat mg l ⁻¹			Mineraalopname/wateropname		
		laagste waarde	gewenste waarde	hoogste waarde	hoogste laagste	gewenste systeemconcentratie	
N	3 x 32 + 7 x 25 =	271	84	130	210	2,5	0,83
P	3 x 11 + 7 x 5,8 =	74	15	31	47	3,0	0,96
S	3 x 11 + 7 x 2,3 =	49	32	64	160	5,0	0,31
K	3 x 38 + 7 x 33 =	345	160	200	270	1,75	0,69
Ca	3 x 3,1 + 7 x 3 =	114	160	200	280	1,75	0,22
Mg	3 x 6 + 7 x 2 =	32	24	48	72	3,0	0,27

2. ZOUT- EN WORTELVERDELING IN EEN KOMKOMMERTEELT

Op dezelfde wijze als bij de eerder gevolgde tomatenteelt op steenwol (Van Noordwijk, 1978), is in 1978 bij een komkommerteelt op de proeftuin Sappemeer de steenwolmat rond enkele planten in detail bemonsterd. Dit gebeurde door de mat in blokjes van 10 x 10 x 2,5 cm te snijden en uit elk blokje vocht te persen voor meting van EC en pH. De geometrie van het systeem was ongeveer gelijk aan de eerder bestudeerde tomatenteelt; zie figuur 1.



Figuur 1. Schema van de gebruikte opstelling:

A = steenwolmat (7 cm hoog, 31 cm breed); B = plant-blokje steenwol (7 x 7 x 6 cm³, afstand tussen twee planten 45 cm); C = druppeldop; D = plasticfolie om de mat heengevouwen; E = afvoer-spleet in plastic (op grondoppervlak); F = verwarmingsbuis; G = isolatiemateriaal.

Figure 1. Diagram of the experimental setup used:

A = mat of rockwool (7 cm high, 31 cm wide); B = rockwool block (7 x 7 x 6 cm³) to accommodate plant, distance between two plants 45 cm; C = solution drop emitter; D = plastic foil folded around the mat; E = discharge slit in plastic (at ground surface); F = heating duct; G = insulation.

De komkommers werdengeplant op 17 januari. De plantdichtheid bedroeg $1,2 \text{ m}^{-2}$. De bemonsteringen werden uitgevoerd op drie data: 1) op 17 maart, toen de produktie op gang begon te komen en reeds circa 6 vruchten per plant geoogst waren, 2) op 2 juni, middenin de oogstperiode, na circa 50 geoogste komkommers per plant en 3) op 18 september, bij een afstervend gewas aan het eind van de teelt, na circa 80 geoogste komkommers per plant.

De gegevens van EC en beworteling op 17 maart staan weergegeven in fig. 2A. De gemiddelde EC lag op een zeer hoog niveau, ongeveer 4 Ms cm^{-1} . De hoogste EC-waarden kwamen voor in de buurt van de druppelaar; kennelijk was recent voedingsoplossing met een hoge concentratie ingedruppeld. Slechts de onderste 3,5 cm van de mat was vochtig, daarboven was de mat droog. De beworteling bleef in hoofdzaak beperkt tot de middenstrook van de mat. Waarschijnlijk werd de wortelverdeling beïnvloed door de verwarmingsbuis die midden onder de mat doorliep. De meeste wortels zaten in de bovenste laag, direct onder de druppelaars en in de middenlaag. In de onderste 2 cm zaten weinig wortels, mogelijk ten gevolge van een slechte aëratie (de afvoerspleten waren niet lang tevoren gemaakt). Het totale worteloppervlak bedroeg $1,1 \text{ m}^2$ per plant en het totale worteldrooggewicht 3,0 g, wat bij een vegetatief spruitdrooggewicht van 57 g per plant een spruit-wortelverhouding van 19 betekent, of 11 als we corrigeren voor de naar schatting 40% gewichtsverlies die bij het spoelen van de wortels zal zijn opgetreden (Brouwer en Van Noordwijk, 1978).

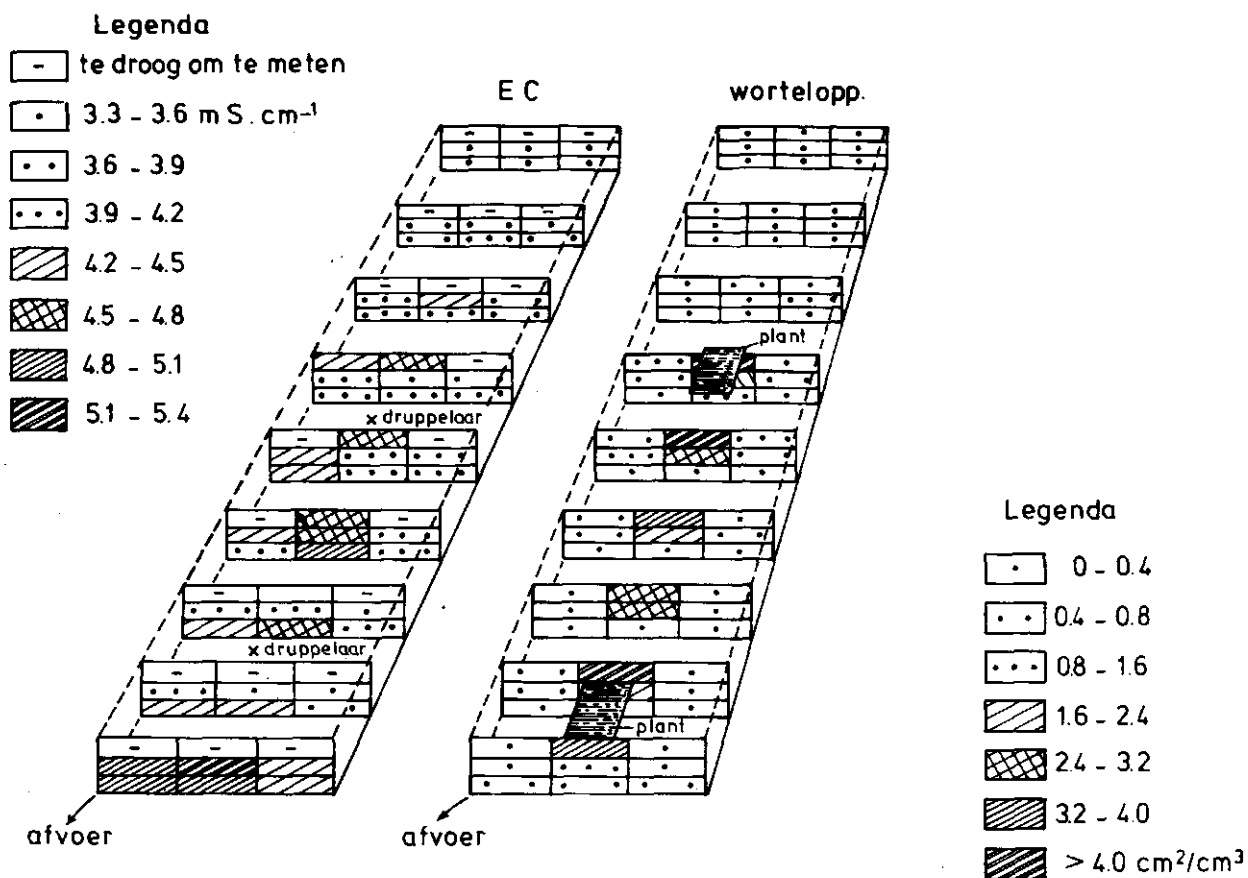
Bij de tweede bemonstering op 2 juni (fig. 2B) was de gemiddelde EC veel lager. Er werd in deze periode naar schatting 4 l water per plant per dag gegeven, bij een totale druppelperiode van 3 uur. Door de beperkte aanvoercapaciteit van de waterleiding had men, volgens zeggen, moeite het verbruik bij te houden, al lekte er tijdens ons bezoek rijkelijk vocht uit de matten. Relatief de hoogste EC-waarden kwamen voor in de dode hoeken en in de stroombaan van de achterste druppelaar, vlak onder de voorste plant. Ten opzichte van de eerste bemonstering had de beworteling zich uitgebreid over de randstroken en naar de onderste laag. Temperatuurverschillen en beperkte aëratiemogelijkheid spelen kennelijk geen rol meer. Het totale worteloppervlak bedroeg nu $2,0 \text{ m}^2$ per plant, hetgeen overeenkomt met de bij tomaat(in december ingeplant) in deze periode

gemeten $2,2 \text{ m}^2$ per plant (Van Noordwijk, 1978). Het worteldrooggewicht is bij de komkommer veel lager dan bij de tomaat: 6,5 tegen 11,5 g per plant. Bij een drooggewicht van de vegetatieve delen van de spruit van 186 g per komkommerplant, komt de spruit-wortelverhouding op 29, of na correctie voor wortelspoelverliezen op 17. Deze spruit-wortelverhoudingen zijn zeer hoog en zijn een weerspiegeling van de in het algemeen zeer goede mogelijkheden voor het functioneren van de wortels in de steenwolmat.

De laatste bemonstering, op 18 september, was eigenlijk te laat om de beworteling in de eindfase te beoordelen, daar het gewas al aan het afsterven was en er zeer veel wortelafbraak voorkwam. De EC rond de $1,5 \text{ mS cm}^{-1}$ (fig. 2C). De hoogste waarden kwamen weer voor in de dode hoeken en in de stroombaan van de achterste druppelaar, direct onder de voorste plant. In de proef waren ook matten opgenomen van de halve breedte (15 i.p.v. 30 cm), met normale of grotere hoogte (7 en 10 cm). In deze matten was de verdeling van de EC meer uniform, hetgeen goed te begrijpen is uit het feit dat de stroombanen hier onderaan de hele breedte van de mat bestrijken. In de dode hoeken aan de uiteinden was wel ophoping te constateren.

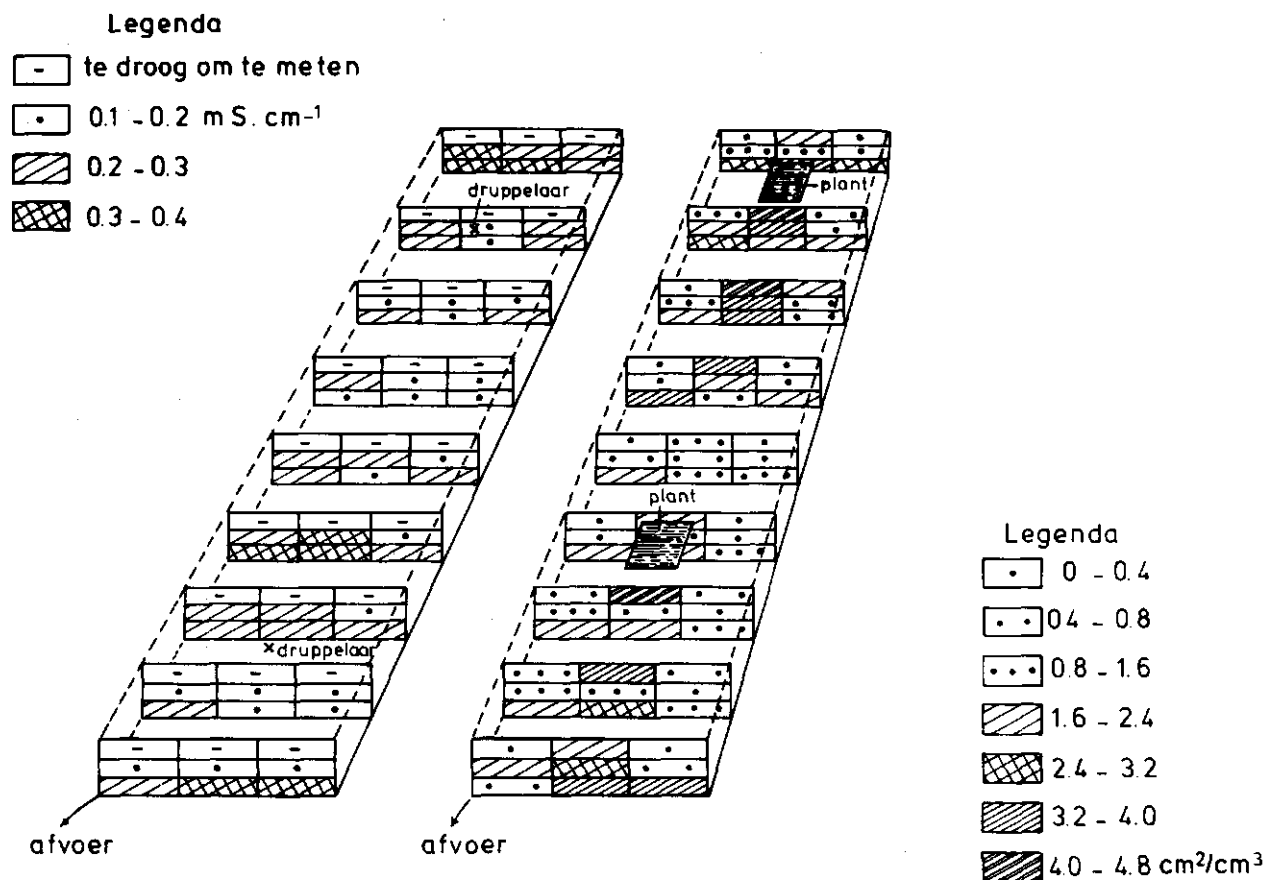
Fig. 3a-d toont de uitgespoelde wortelstelsels in bovenzicht. De plaatsing van druppelaars en afvoerspleet is aangegeven. Onder de druppelaar is steeds een fijne wortelvertakking te zien. De dode hoeken zijn in het algemeen minder sterk beworteld (zie bijvoorbeeld 3b hoek rechts-onder, 3c linksboven, 3e links).

Alles bijeengenomen is in deze komkommerteelt minder zoutophoping waargenomen dan bij de eerder bestudeerde tomatenteelt. Wortelbeschadiging in de dode hoeken, zoals bij tomaat gezien, mogelijk onder invloed van ophoping van cytokininen, is bij de komkommer ook niet gesignaleerd. Bij onze bezoeken ontstond wel de indruk dat er in deze teelt in veel ruimere mate doorgespoeld werd (water uit de mat weglekte). Volgens schatting van de proeftuinleider bedroeg dit 10-25% van de ingedruppelde hoeveelheid. Maar, zoals het volgende hoofdstuk toont, dit is waarschijnlijk een onderschatting van de feitelijke situatie.



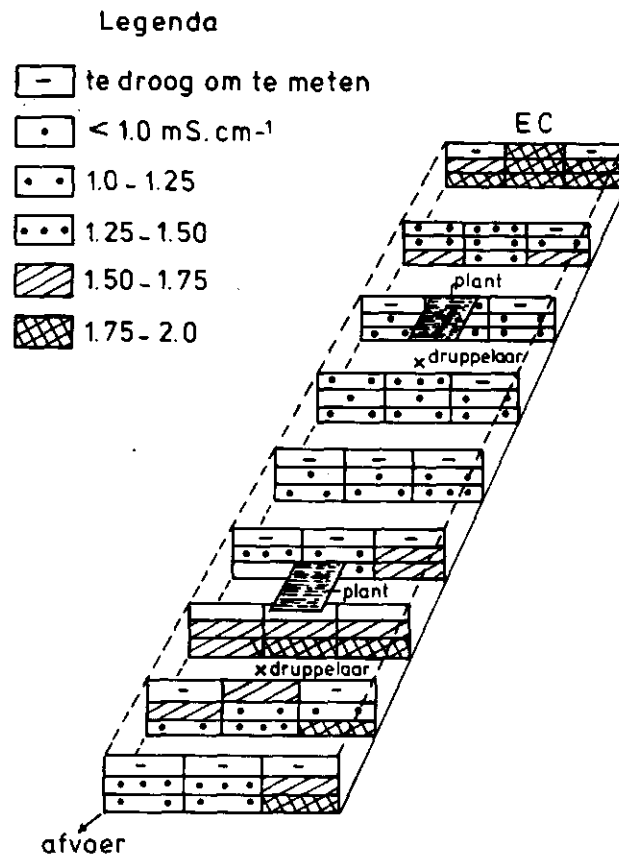
Figuur 2A. Verdeling van zoutgehalten en wortels in de steenwolmat op 17-03-1978.

Figure 2A. Distribution of salt content and of roots in the rockwool mat on 17 March 1978.

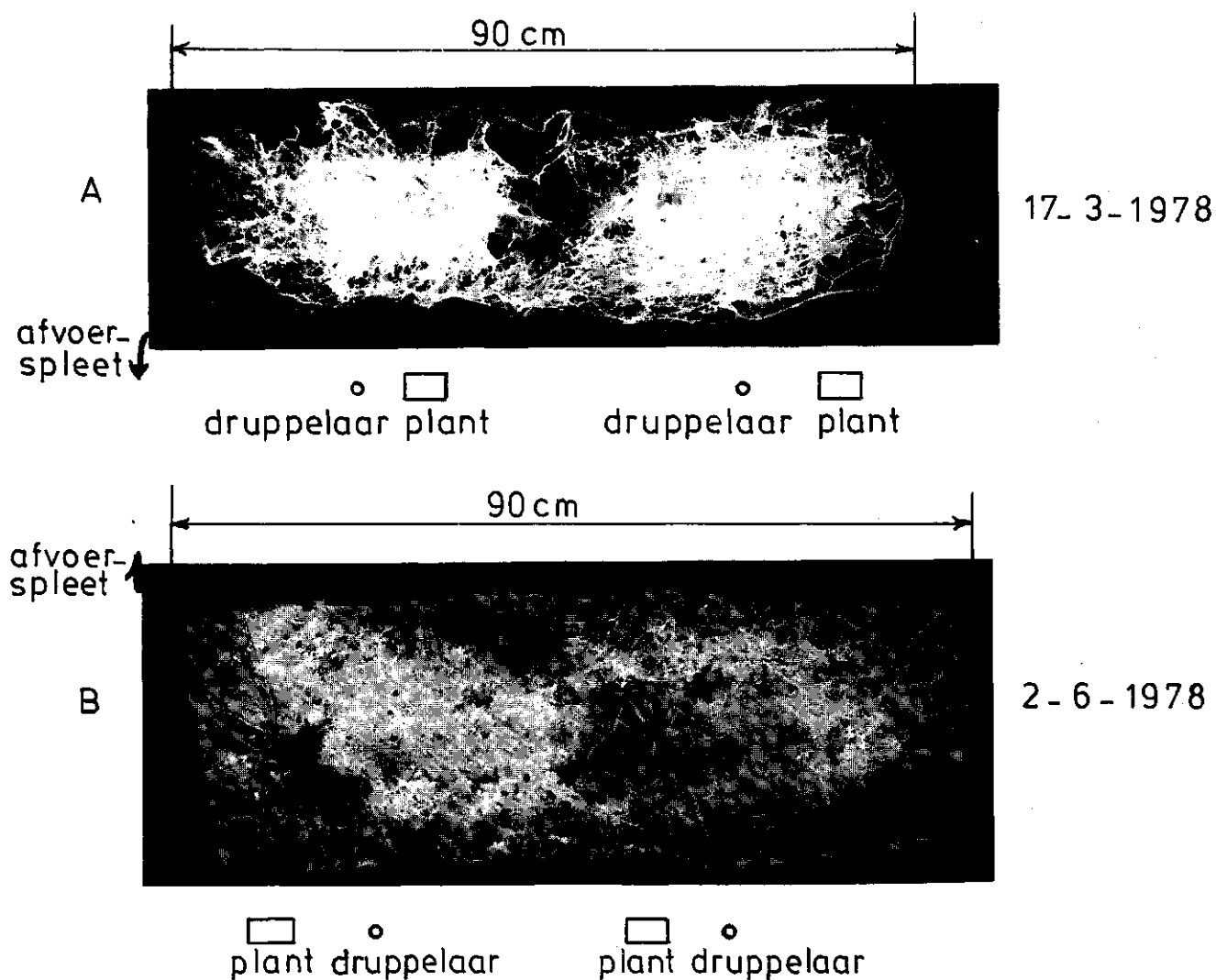


Figuur 2B. Verdeling van zoutgehalten en wortels in de steenwolmat op 2-06-1978.

Figure 2B. Distribution of salt content and of roots in the rockwool mat on 2 June 1978.

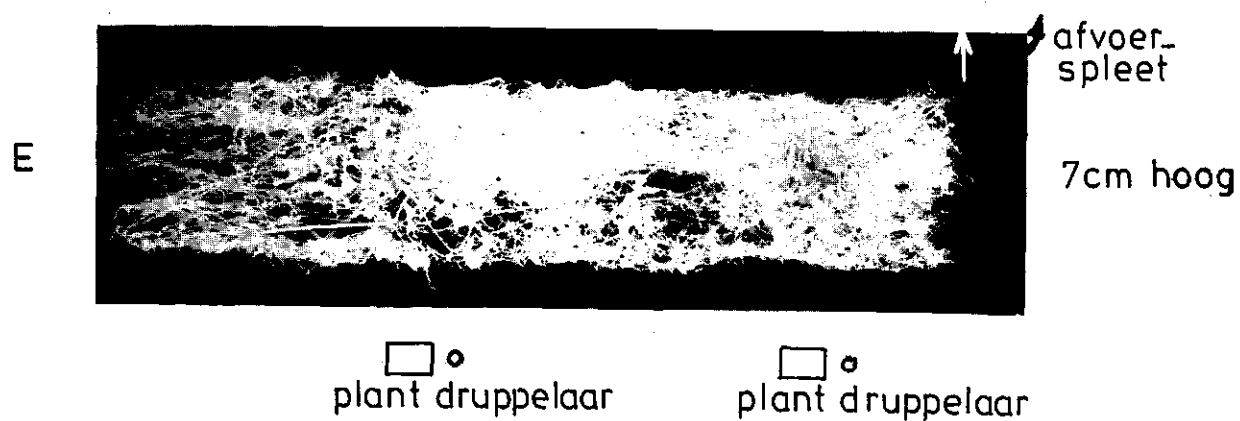
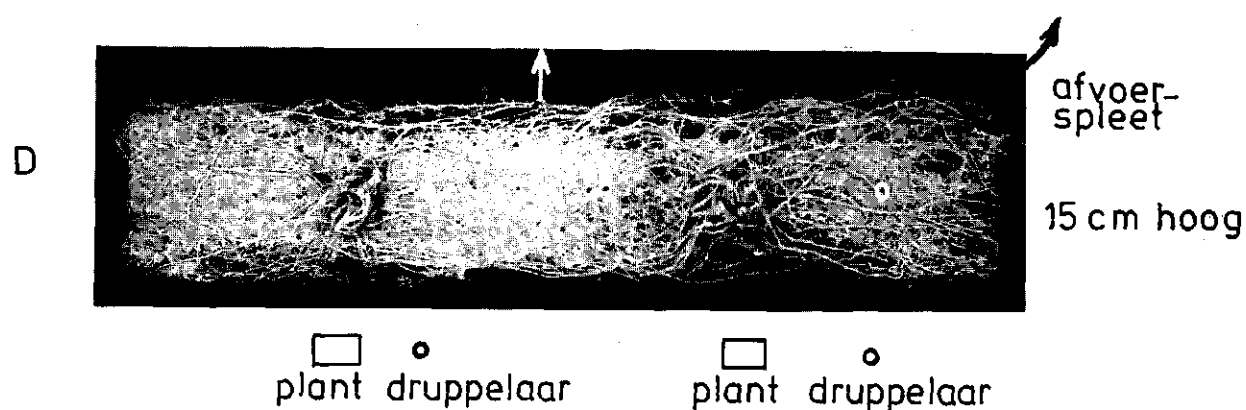
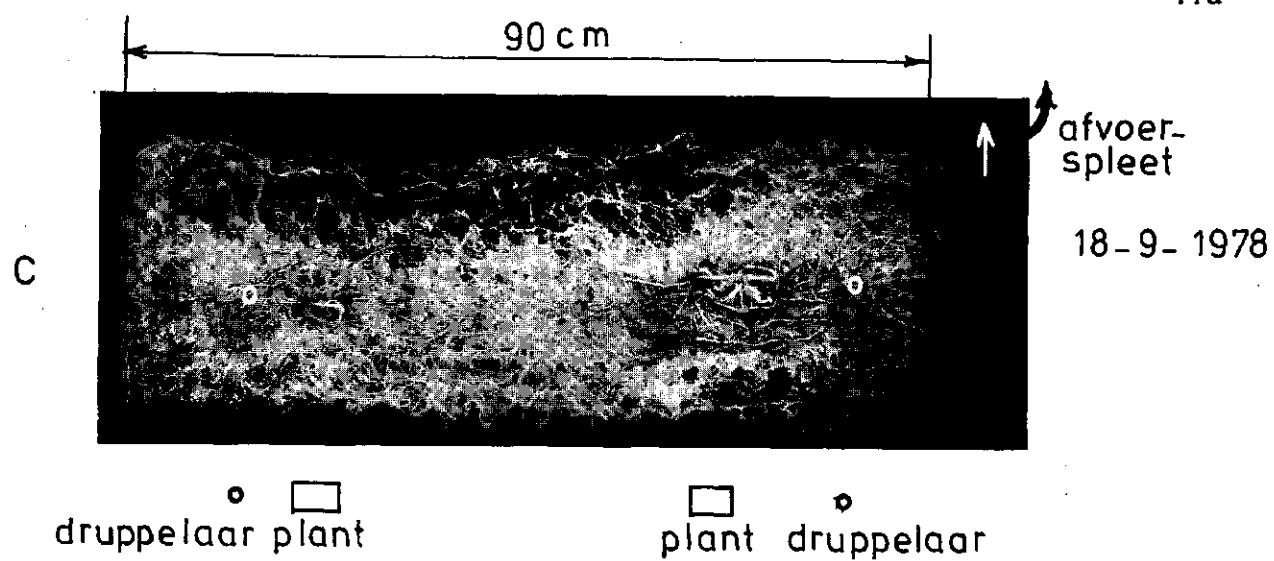


Figuur 2C. Verdeling van zoutgehalte in de steenwolmat op 18-09-1978.
 Figure 2C. Distribution of salt content in the rockwool mat on 18 September 1978.



Figuur 3. Wortelontwikkeling van komkommer in steenwolmat van 30 cm breed en 7 cm hoog (a, b, c). Op 18-9 zijn ook twee afwijkende maten bemonsterd van 15 cm breed en 15 cm hoog (d) of 7 cm (e). De positie van druppelaars en afvoerspleet is steeds aangegeven (c, d en e zie blz. 11a).

Figure 3. Root development of cucumber in a rockwool mat of 30 cm wide and 7 cm high (a, b, c). On 18-09, also two different mats, 15 cm wide and 15 cm high (d) or 7 cm high (e), were sampled. The position of the drop emitters and discharge slit is indicated in each case (c, d and e, see page 11a).



3. MINERALENBALANS VAN EEN KOMKOMMERTEELT

Problemen van zoutophoping zijn te voorkomen door steeds ruim water te geven en zo alle restzouten steeds weg te spoelen. Maar dan ontstaat een ander probleem, namelijk het zeer inefficiënt gebruik van de dure kunstmestzouten en eutrofiëring van grond- en oppervlaktewater. Om een indruk te krijgen van de efficiëntie van kunstmestgebruik, is getracht van de in hoofdstuk 2 besproken komkommerteelt in Sappemeer een mineralenbalans op te stellen over de gehele teelt.

De basisgegevens hiervoor zijn:

- a) Gebruikte bemesting: 600 kg Nutriflora + "restjes van vorig jaar" (mond. mededeling bedrijfsleider) met 0,46% N, 4,8% P, 33% K, 3,0% Mg, 12% S en 800 kg kalksalpeter met 15,5% N, 22% Ca.
Omdat 1/4 van de kasoppervlak met randplanten bezet was, is 3/4 van deze gift gerekend als input in de proef (600 m^2 met 1,2 planten m^{-2}).
- b) Geoogste komkommers 21.400 kg versgewicht uit de totale proef; geschatte gehalten drogestof 3,1%, daarvan 3,5% N, 0,84% P, 4,8% K, 1,0% Ca, 0,4% Mg en 0,76% S.
- c) Aan het eind van de proef aanwezig in het gewas: $290 + 30 \text{ g}$ drogestof per plant (vegetatief + generatief) $\times 720$ planten (600 m^2 à 1,2 planten m^{-2}) = 230 kg drooggewicht; geschatte gehalten: 3,5% N, 0,62% P, 4,7% K, 5,2% Ca, 0,85% Mg en 0,45% S. Gewas-en vruchtgehalten zijn gebaseerd op gegevens van Roorda van Eysinga (1965).

De balans staat vermeld in tabel II en toont dat slechts ongeveer 1/3 van de totale bemesting door de planten is opgenomen. Van het restant is slechts een zeer klein deel nog in de mat aanwezig: in de mat is de gemiddelde EC rond $1,5 \text{ mS cm}^{-1}$ en bij herhaalde extractie met demiwater is nog een hoeveelheid zout te vinden overeenkomend met een $0,5 \text{ mS cm}^{-1}$ hogere concentratie in de mat. Omgerekend voor N betekent dit ca. 0,15 kg, d.w.z. slechts ca. 0,15% in de balans.

De conclusie moet dan ook zijn dat het verschil grotendeels de kasgrond ingespoeld is. De opname-efficiëntie is bij Ca en S een factor 2 lager dan bij de overige elementen (ca. 1/6 en ca. 1/3 van de gift), zoals te

TABEL II. Schatting van de mineralenbalans van een komkommerteelt op 600 m² steenwol op de proeftuin Sappemeer in 1978. Voor basisgegevens zie de tekst.

TABLE II. Estimated balance sheet for minerals in a cucumber crop on 600 m² rockwool at the Experimental Garden Sappemeer in 1978. The last column represents the difference between fertilizer input and output in harvested fruit plus crop residue.

	In (kg)			Uit (kg)			Verschil	
	450 kg Nutriflora	600 kg kalksal- peter	totaal	21.400 kg (vers)kom- kommers	230 kg (droog) gewas	to- taal	(kg)	% van In
N	2	93	95	23	8	31	64	67
P	22	-	22	5,6	1,4	7,0	15	68
K	150	-	150	32	10	42	108	72
Ca	-	132	132	6,6	11	18	114	86
Mg	14	-	14	2,7	1,7	4,4	9,6	69
S	54	-	54	3,0	1,7	4,7	49	91

verwachten uit de noodzaak van een relatief hoge concentratie Ca in de voedingsoplossing met sulfaat als anion.

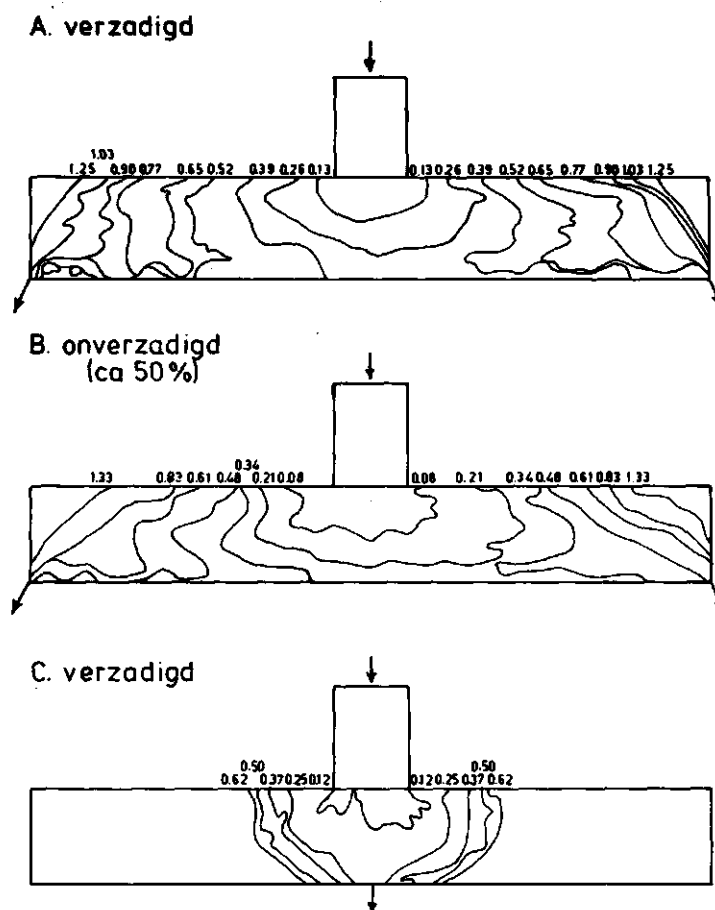
De gevonden efficiënties zijn laag, maar steken toch niet ongunstig af bij cijfers door Hamaker en Van den Burg (1978) gevonden voor komkommer- teelt en in de vollegrond: opname ca. 30% van de gift voor N, 20% voor P, 50% voor K en 15% voor Mg.

4. UITSPOELING VAN OPGEHOOPTE ZOUTEN

Omdat de zo in de praktijk doorgespoelde hoeveelheid voedingsoplossing waarschijnlijk veel groter is dan nodig is, is in het laboratorium getracht na te bootsen wat er gebeurt bij het indruppelen van nieuwe voedingsoplossing. In een strook steenwol van 50 x 5 x 7 cm (lengte x breedte x hoogte) werd in het midden de kleurstof saffranine ingedruppeld. De onderkant van de steenwol was met plastic omgeven met een rand van 1 cm hoog, behalve bij de uitstroomopening. Aan de zijkanten was het front van de kleurstof goed te zien en in te tekenen. Het effluent werd opgevangen en de concentratie aan saffranine gemeten. Drie situaties werden vergeleken: A) een met water verzadigde mat als uitgangstoestand, druppelaar in het midden en uitstroomopening aan beide uiteinden, B) als uitgangstoestand ongeveer 50% van het watergehalte bij verzadiging en verder als A), en C) een met water verzadigde mat als uitgangstoestand, met zowel druppelaar als uitstroomopening in het midden.

De kleurstoffronten staan ingetekend in figuur 4. Bij het transport blijken de oorspronkelijke vloeistof en de nieuw-ingedruppelde nauwelijks te mengen: het water wordt volledig verdrongen ("piston displacement"). In eerste instantie ontstaat een ongeveer elliptisch front onder de druppelaar, uitgerekt in horizontale richting, tengevolge van spreiding in het blokje steenwol bovenop de mat en door de grotere verzadigde doorlatendheid in horizontale richting vergeleken met verticaal. Dit laatste verschil is toe te schrijven aan de gelaagde structuur van de steenwol en blijkt uit meetwaarden van resp. 186 en 131 m dag⁻¹ voor de verzadigde doorlatendheid (Van Noordwijk, 1979). Als het front de onderzijde van de mat bereikt, verplaatst het vocht zich langs het grensvlak van de steenwol met het plastic folie snel vooruit. Reeds voordat de steenwol boven de uitstroomopening door het front bereikt wordt, stroomt er al gekleurd vocht uit de mat. Toch blijkt dat, als de ingedruppelde hoeveelheid gelijk is aan het vochtgehalte bij verzadiging, de gehele mat gekleurd is, op kleine "dode hoeken" boven de uitstroomopeningen na.

In geval B, bij onverzadigde uitgangstoestand, verloopt de verbreiding van de kleurstof vooral in het begin sneller, maar de uiteindelijke dode

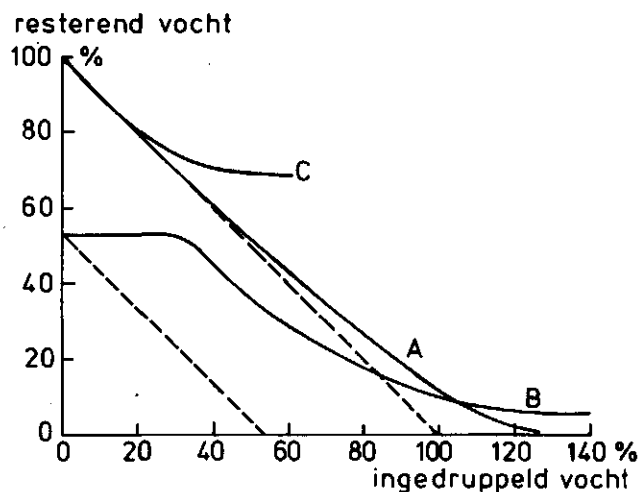


Figuur 4. Kleurstoffronten tijdens het indruppelen. De getallen bij de lijnen geven aan hoeveel vocht is ingedruppeld als percentage van het vochtgehalte bij verzadiging. De pijlen geven de in- en uitstroomplaatsen aan.

Figure 4. Dye fronts during drip-feeding. The numbers indicate the quantity of liquid supplied as a percentage of the liquid content at saturation. Arrows indicate inflow and discharge points. (A. Saturated; B. Unsaturated (about 50%); C. Saturated).

hoek is groter. Geval C toont duidelijk hoe inefficiënt de verdringing is in een systeem waarbij het vocht direct onder de druppelaar kan uitstromen.

In figuur 5 is het verdringen van het aanwezige door het nieuw ingedruppelde vocht nader gekwantificeerd. Via de kleurstofconcentratie in het uitstromende vocht is, na correctie voor de geringe kleurstofadsorptie



Figuur 5. Verdringing van het oorspronkelijk aanwezige vocht (water) door kleurstof. Bij volledige verdringing zou de stippellijn gevolgd zijn. Resterend en ingedruppeld vocht zijn beide uitgezet als percentage van het vochtgehalte bij verzadiging.

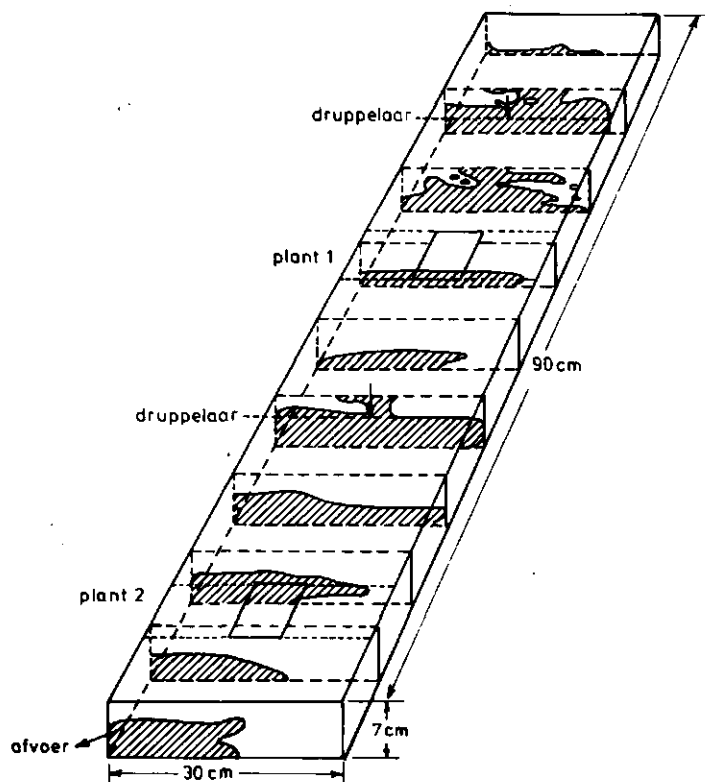
Figure 5. Displacement of the liquid (water), originally present, by dye. Complete displacement would have resulted in the dotted line. Remaining liquid and drip-fed liquid have both been plotted as a percentage of the moisture content at saturation.

aan de steenwol, uitgerekend hoeveel van de ingedruppelde vloeistof uitgestroomd is en daarmee hoeveel van de oorspronkelijk aanwezige vloeistof achtergebleven is. Bij volledige verdringing zou volgens de stippellijnen steeds evenveel oorspronkelijk vocht verdwijnen als er nieuw ingedruppeld werd. In geval A is dit grotendeels ook het geval, wat wijst op een geringe menging (dispersie) tijdens het transport. Slechts op het eind wijkt de lijn echt af, als gevolg van het in dode hoeken achterblijvende vocht dat moeilijk mee te krijgen is. In geval B wordt het ingedruppelde vocht eerst opgenomen zonder dat er vocht uitstroomt, maar als ruim 30% (v/v) van het totale vochttekort van 47% is aangevuld, begint evenveel vocht uit te stromen als er ingedruppeld is. Het oorspronkelijk aanwezige vocht wordt dan eerst grotendeels verdrongen voor er kleurstof uitstroomt, maar de uiteindelijk resterende hoeveelheid vocht (dode hoek) is in absolute zin groter dan in geval A. De herbevochtiging van de hogere lagen steenwol verloopt traag en ondertussen

stroomt het nieuw ingedruppelde vocht hieronderdoor naar de uitstroomopeningen. Dit is van belang voor de praktijk daar het aangeeft dat frequent een beetje druppelen beter is dan af en toe veel. Lijn C toont opnieuw hoe gering het verdringingseffect is bij aanwezigheid van uitstroomopeningen onder de druppelaar (bijvoorbeeld steenwol zonder plastic omhulling).

Om het beeld van de stroombanen te completeren is in de proeftuin Sappemeer de saffranine-infiltratie herhaald op praktijkschaal. Van een eenheid planten (4 planten met elk 1 druppelaar erbij, met 1 centrale uitstroomopening, door opgetrokken plastic van andere eenheden gescheiden) zijn de planten afgesneden en de druppelaars vervangen door slangetjes waar saffranine uitliep uit voorraadvatjes. De druppelsnelheid was ongeveer gelijk aan de gangbare. Het uitstromende vocht werd zo goed mogelijk opgevangen, maar dit lukte niet geheel en de saffranine-balans van de meting klopte daardoor niet, zodat geen lijn overeenkomstig figuur 5 gegeven kan worden. Wel duidelijk zijn de kwalitatieve resultaten van de stroombanen, zoals die bleken bij het opensnijden van de mat na indruppelen van een hoeveelheid kleurstof overeenkomend met 1,7 maal het geschatte volume bij verzadiging. Figuur 6 toont de saffranine-fronten in doorsneden van de mat, om de 10 cm gemaakt. Duidelijk blijkt dat de kleurstof onder de druppelaar zich slechts in een klein gebied horizontaal verbreidt, al snel tot onderin de mat zakt en zich vandaar in rechte lijn naar het afvoerpunt beweegt. De bovenste centimeters van de mat waren erg droog en namen ook vrijwel geen kleurstof op. Tegenover het afvoerpunt blijkt ongeveer de halve breedte van de mat als dode hoek te gelden. Bij de hier aanwezige plaatsing van druppelaars en uitstroomopeningen is direct onder plant 2 een grote dode hoek aanwezig, met alle risico's van ophoping van diën. Dergelijke situaties zijn gemakkelijk te voorkomen door een andere plaatsing van druppelaars en uitstroompunten.

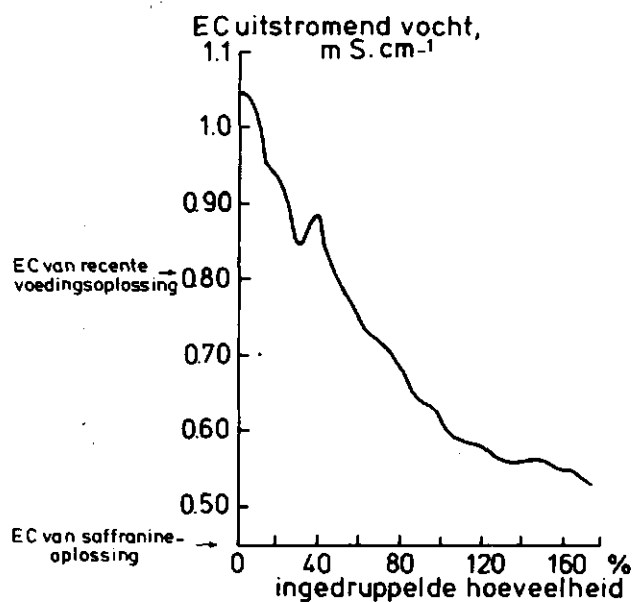
Hoewel het volledig kwantificeren van de saffraninedoorspoeling niet mogelijk bleek, geeft het zoutgehalte van het uitgestroomde vocht (figuur 7) wel een indicatie. De EC van het uitstromende vocht had aanvankelijk een hogere waarde dan de voedingsoplossing die het meest recent in de mat gedruppeld was. Voor de proef hadden twee van de zes à zeven dagelijkse druppelperioden plaatsgehad. De EC daalde tot het niveau van



Figuur 6. Saffranineverdeling in steenwolmat nadat $1,7 \times$ de vochtcapaciteit ingedruppeld is. In de rechterbovenhoek is de steenwol met plastic gescheiden van het aangrenzende blok.

Figure 6. Distribution of safranin in rockwool mat after $1.7 \times$ the moisture holding capacity has been dripped in. In the upper right hand corner the rockwool has been separated from the adjoining block by means of plastic foil.

deze oplossing nadat ongeveer de helft van het aanwezige vocht door kleurstof was vervangen. Hierna begon het uitstromende vocht snel gekleurd te raken. Aan het eind van de proef was het uitstromende vocht nog steeds een mengsel van oorspronkelijk aanwezige voedingsoplossing en nieuw ingedruppelde kleurstof.



Figuur 7. Zoutgehalte (EC) van het vocht dat uit de mat druppelde bij het indruppelen van saffranine. De ingedruppelde hoeveelheid is uitgezet als percentage van de totale vochtcapaciteit, geschat op 5 cm^3 (water) cm^{-2} (grondoppervlak).

Figure 7. Salt content (EC) of the liquid dripping from the mat while safranin was being dripped in. The amount supplied has been plotted as a percentage of the total moisture holding capacity, estimated to be 5 cm^3 (water) cm^{-2} (surface area).

5. HOEVEEL DOORSPOELING IS NOODZAKELIJK?

Ruim doorspoelen is kennelijk (hoofdstuk 3) een in de praktijk toegepaste maatregel om problemen van zoutophoping tegen te gaan. Maar verspilling van dure kunstmestzouten en eutrofiëring van de bodem en het oppervlaktewater moeten zo mogelijk voorkomen worden. Dat roept de vraag op hoeveel doorspoeling echt noodzakelijk is ter vermindering van schadelijke effecten van zoutophoping.

Voor de steenwolteelt is allereerst van belang waar die ophoping plaats zal vinden; direct onder de plant is het veel riskanter dan ver van de plant op een plaats die de wortels kunnen mijden. In figuur 8 zijn diverse mogelijkheden voor plaatsing van druppelaars en uitstroomopeningen schematisch weergegeven. De voorkeur verdienen systemen c en h (bij respectievelijk brede en smalle steenwolmat) met druppelaars bij de plant en uitstroomopeningen aan weerszijden tussen elk paar druppelaars in. Bij gebruik van een poreuze gietslang die over het gehele midden van de mat indruppelt zullen dode hoeken nauwelijks voorkomen (systeem i). Het verplaatsen van druppelaars tijdens de teelt is riskant, daar plaatsen waar zout zich hebben opgehoopt dan weer in het stromingspatroon betrokken kunnen raken.

Voor de verdere beschouwingen kunnen we twee in de praktijk gebruikte systemen vergelijken: de steenwolmat, met vrijwel volledige verdringing, en de voedingsgoot met volledige menging van oude en nieuwe voedingsoplossing. Deze twee systemen hebben verschillende consequenties voor het probleem van zoutophoping. Om dit te zien moeten we onderscheid maken tussen twee typen ophoping nl. die van gewenste en die van ongewenste stoffen. Wanneer relatieve opname en concentratie niet in balans zijn, dan kunnen gewenste voedingszouten tijdelijk en plaatselijk zo sterk ophopen dat dit schadelijk is. Via een goede menging in het systeem en het aanpassen van de nieuw te geven oplossing is de concentratie weer goed te maken. Ophoping van ongewenste zouten, zoals van NaCl bij slecht gietwater, vereist echter een definitieve afvoer uit het systeem. Voor de eventuele afscheiding van stoffen, door de wortels, die in hoge concentratie schadelijk zijn, zoals voor cytokininen gesuggereerd is door

Tucker (1977), geldt hetzelfde als voor ongewenste zouten.

Wat betreft het probleem van de tijdelijke ophoping van gewenste zouten is een systeem met volledige menging (zoals teelt in voedingsgoten of steenwol met recirculatie van uitgestroomd vocht) te prefereren. Afvoer van vocht uit het systeem is niet nodig, wel moeten eisen gesteld worden aan de buffercapaciteit van het systeem om de schommelingen binnen de perken te houden (hoofdstuk 6). Bij ophoping van ongewenste stoffen is een systeem met volledige verdringing (zoals steenwol bij definitieve afvoer) gunstiger dan een volledig mengend systeem. Voor beide systemen zullen we nu de benodigde doorspoeling formuleren in termen van aanwezige en nog acceptabele concentraties.

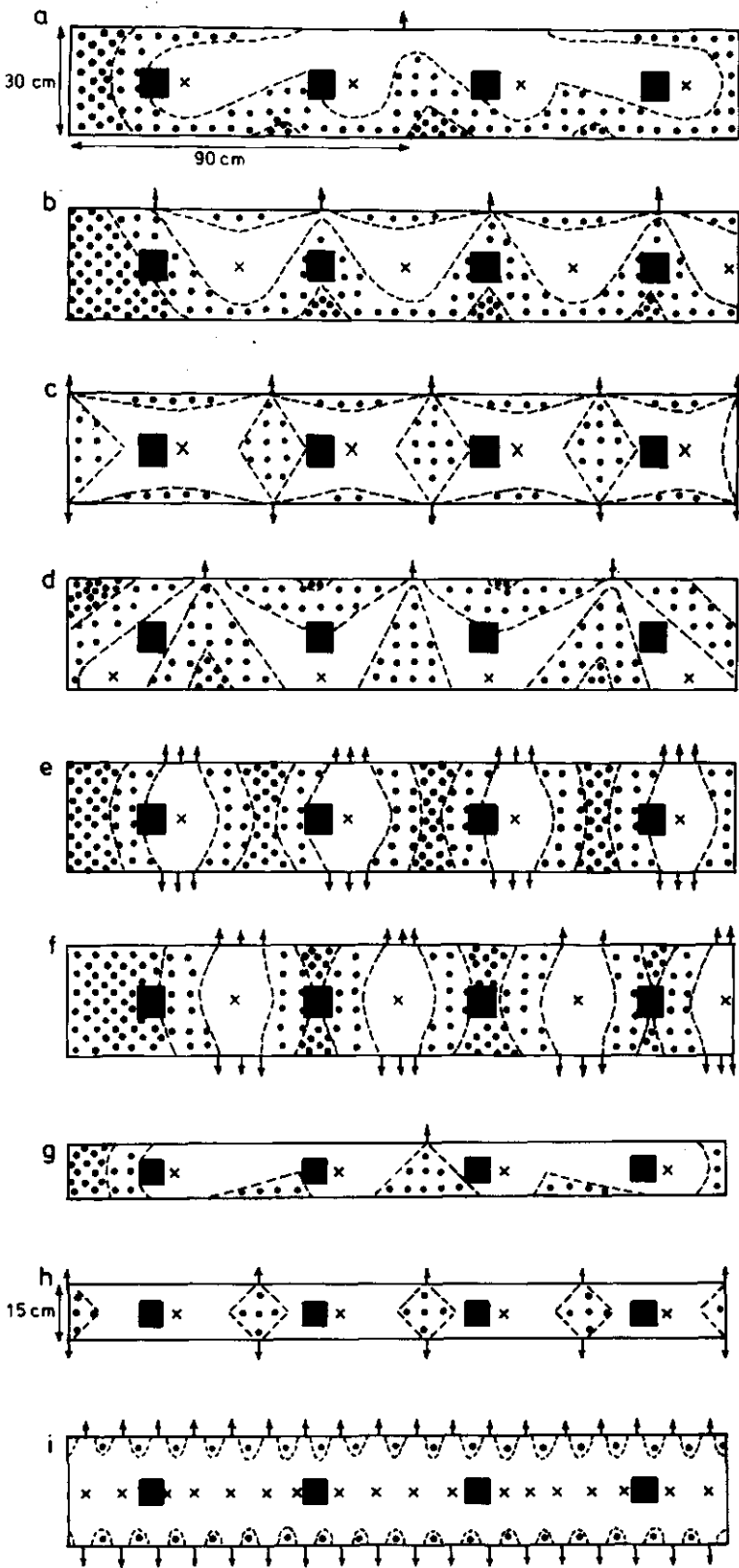
In figuur 9 is schematisch weergegeven wat de consequenties zijn van volledige verdringing enerzijds en volledige menging anderzijds. Bij volledige verdringing kunnen we een "pakketje voedingsoplossing" vanaf het binnendruppelen volgen in de tijd tot het uiteindelijk uitspoelt. Door wateropname en uitsluiting van zout bij de wortel neemt de concentratie in het pakketje geleidelijk toe. Bij de volledige menging is overal in het systeem dezelfde, verhoogde concentratie aanwezig en is het vervolgen van een pakketje toegevoegde oplossing niet mogelijk. Voor beide systemen willen we de benodigde doorspoeling weten als we een norm stellen aan de door zoutophoping bereikte concentraties.

Noem de dagelijkse ingedruppelde hoeveelheid voedingsoplossing w_0 , met zoutconcentraties c_0 , de door de plant opgenomen hoeveelheid oplossing w_1 , met concentratie c_1 , en de dagelijks uitstromende hoeveelheid w_2 , met concentratie c_2 . Bij een stationaire toestand geldt:

$$w_0 = w_1 + w_2 \quad (1)$$

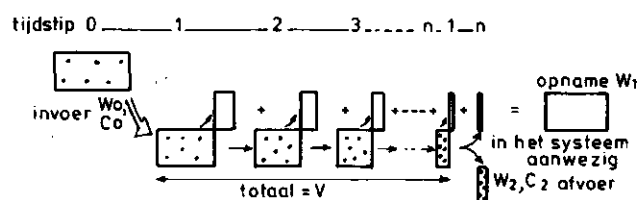
$$\text{en} \quad w_0 c_0 = w_1 c_1 + w_2 c_2 \quad (2)$$

We zijn geïnteresseerd in de afvoerfractie $L = w_2/w_0$ (= "Leaching fraction"). Als extreme situatie kunnen we een zout beschouwen dat in het geheel niet wordt opgenomen (d.w.z. $c_1 = 0$) en dat schadelijk is bij een concentratie c_{norm} . Bij het systeem met volledige menging is de concentratie overal in het systeem gelijk aan c_2 . Als we stellen $c_2 = c_{\text{norm}}$, dan

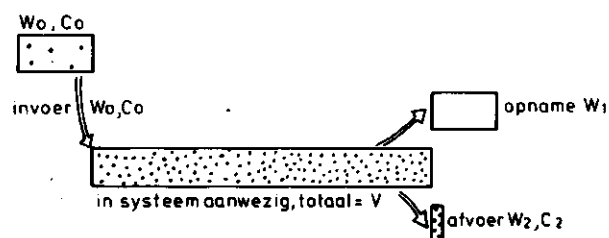


- Figuur 8.** Verschillende mogelijkheden voor het gietsysteem bij steenwolmatten, in bovenaanzicht; zwarte vierkantjes geven de planten aan, kruisjes de druppelaars, pijlen de uitstroomopeningen en de arceringen de "dode hoeken" in het systeem. a) is de situatie in Sappemeer, b) komt in de praktijk eveneens voor. Systeem c) met druppelaars bij de plant en uitstroomopeningen aan beide zijden tussen de planten in geeft duidelijk minder dode hoeken en is daarmee te verkiezen boven a en b. d) is een redelijk alternatief als de uitstroomopeningen tot één zijde beperkt moeten worden. Bij weglaten van het plastic om de steenwol ontstaan situaties zoals e) en f) die veel dode hoeken opleveren, bij f) zelfs onder de plant. f en h geven de situatie weer bij een mat van de halve breedte; g, zoals aangetroffen in Sappemeer, h zoals aan te bevelen is (overeenkomstig c). Als de druppelaars vervangen worden door een systeem dat op meer plaatsen water afgeeft (bijvoorbeeld een poreuze slang) kan het plastic zonder bezwaar weggelaten worden (i), behoudens verdamping aan het oppervlak.
- Figure 8.* Different possibilities for the irrigation system for rockwool mats, top view. Black squares represent the plants, crosses the drop emitters, arrows the discharge slits, and shaded areas the "dead corners" in the system. a. represents the situation in Sappemeer, b. occurs in commercial practice also. System c., with drop emitters near the plant and bilateral discharge slits between the plants, clearly results in fewer dead corners and is therefore to be preferred to a. and b. d. is a reasonable alternative when the discharge slits have to be limited to one side only. Omitting the plastic cover around the rockwool results in many dead corners, as in e. and f., in the case of f. even underneath the plant. g. and h. represent the situation in a mat of half the width (15 cm): g, as in Sappemeer, h. as is to be recommended (corresponding to c.). When a system of multiple delivery points (e.g. a porous hose) is substituted for the drop emitters, the plastic could conveniently be omitted (i), if evaporation would not occur.

I Volledige verdringing:



II Volledige menging:



Figuur 9. Schematische voorstelling van zoutophoping bij een systeem met volledige verdringing (steenwol) en een systeem met volledige menging (voedingsgoot).

Figure 9. Diagrammatic representation of salt accumulation in a system with complete displacement (rockwool) and a system with perfect mixing (nutrient film technique).

- I. complete displacement
II. perfect mixing

volgt direct:

$$L = w_2/w_0 = c_0/c_{\text{norm}} \quad (3)$$

Hetzelfde resultaat volgt bij het systeem met volledige verdringing, als we c_{norm} beschouwen als de maximaal toelaatbare concentratie waaraan wortels blootgesteld mogen worden. Echter, het overgrote deel van het wortelstelsel wordt door een lagere concentratie omgeven. De precieze concentratieverdeling in de wortelzone hangt af van de ruimtelijke verdeling van de wateropname.

Zoals Raats (1974) beschreef, is een gemiddelde concentratie, gewogen naar de wateropname uit ieder pakketje, echter onafhankelijk van deze verdelingsfunctie. Dit is wel in te zien als we een uniforme opnameverdeling vergelijken met een opname rond de invoeropening. In het laatste geval zal de

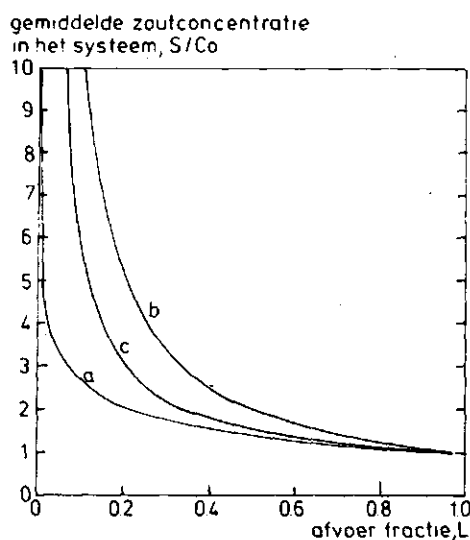
oplossing al snel sterk geconcentreerd raken, zodat in de middenzone wateropname bij een hogere zoutconcentratie moet plaatsvinden dan bij een uniforme opnameverdeling het geval zou zijn. Maar deze opname is dan slechts een gering deel van het totaal, terwijl het grootste deel van de opname bij de lage concentratie in het begin plaatsvindt. Deze twee effecten blijken elkaar juist op te heffen.

Zoals Raats (1974) afleidde, is de afvoerfractie impliciet te vinden in een verband met de voor wateropname gewogen gemiddelde zoutconcentratie S . Dit verband luidt:

$$\frac{S}{c_0} = \frac{\ln(1/L)}{1-L} \quad (4)$$

Met behulp van figuur 10 (overgenomen uit Raats, fig. 5) is de benodigde afvoerfractie L af te lezen voor iedere verhouding tussen c_{norm} en c_0 . Duidelijk blijkt dat bij volledige verdringing met een veel geringere afvoer kan worden volstaan dan bij volledige menging nodig is, tenzij in het instromende water de norm al bereikt is (uit $c_0 = c_{\text{norm}}$ volgt $L = 1$).

Volgens lijn a in figuur 10 is een doorspoeling van 5% in een steenwolteelt al voldoende om de zoutophoping acceptabel te houden bij slecht gietwater dat al 1/3 van de normconcentratie bevat. Een doorspoelingsfractie van 65%, zoals in de Sappemeerproef gehanteerd werd (H.3), is pas nodig bij extreem slechte gietwaterkwaliteit.



Figuur 10. Verband tussen afvoerfractie en de zoutconcentratie in het systeem bij a. volledige verdringing ("piston displacement") en b. volledige menging ("perfect mixing"). Lijn c. geeft het gemiddelde van invoer en afvoer aan bij volledige menging.

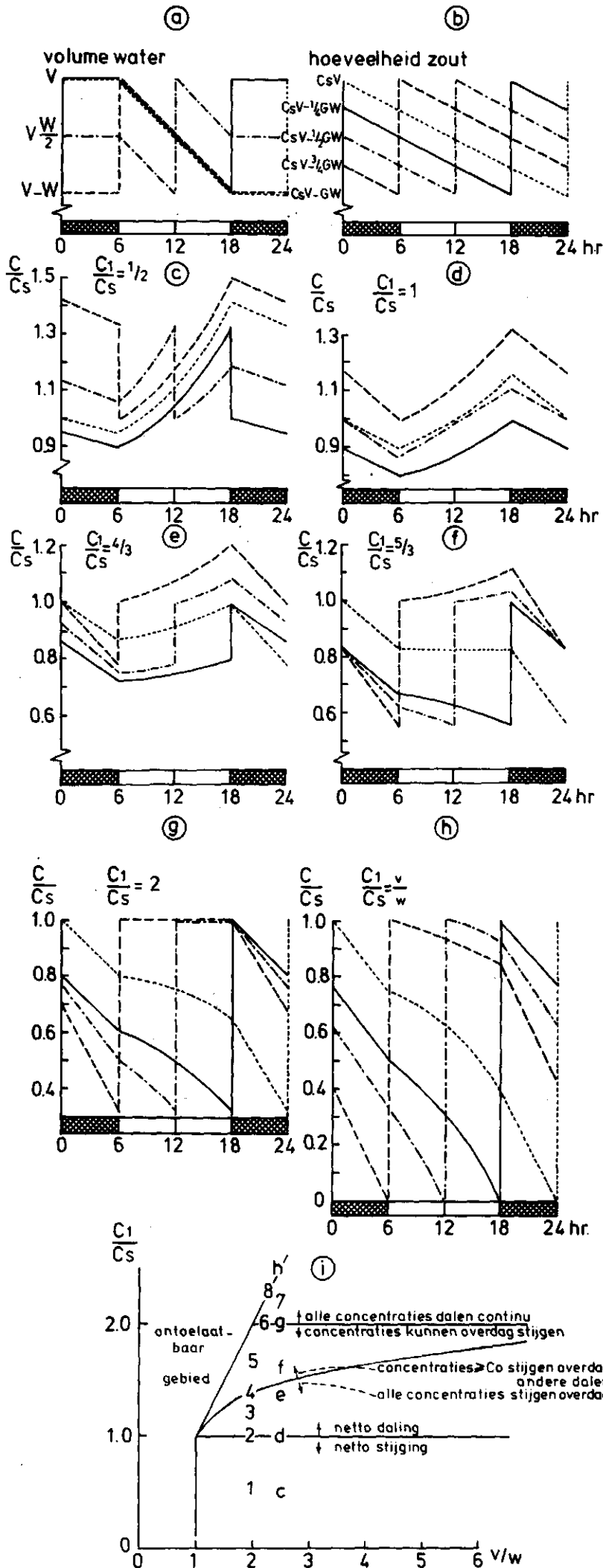
Figure 10. Relation between leaching fraction and salt concentration in the system in the cases of: a. complete displacement ("piston displacement") and b. perfect mixing. Line c. is the average of influx and efflux in the case of perfect mixing.

6. BENODIGDE BUFFERVOORRAAD

Zoals in de inleiding is gesteld, is het nauwelijks te vermijden dat de relatieve opname van water en mineralen tijdelijk uit balans raakt, tenzij continu water en zouten worden toegevoegd overeenkomstig de momentane opname. Als slechts op gezette tijden wordt bijgevuld, verandert tussentijds de concentratie. Een goede menging van bijgedruppelde en reeds aanwezige vloeistof is noodzakelijk om de concentratie weer te herstellen. Een voedingsgoot of ander snel (re)circulerend systeem is in dat opzicht beter dan een systeem met volledige verdringing, waarin diffusie voor menging zal moeten zorgen.

In hoeverre de concentraties tussentijds uit balans raken, hangt onder meer af van de frequentie van bijstellen en van de buffervoorraad van het systeem. Een maat voor de buffervoorraad is v/w , het volume na bijvullen gedeeld door de wateropname tussen twee bijvultijdstippen. Als we normen stellen aan de toelaatbare schommelingen van de concentratie, dan kunnen we daaruit eisen afleiden aan de benodigde buffervoorraad, bij gegeven verschil tussen opname- en systeemconcentratie en bij gegeven bijvulfrequentie. In het onderstaande duiden we de systeemconcentratie direct na bijvullen aan met C_s en de actuele concentratie in de loop van de dag met C . We zullen nu de theorie uitwerken voor een volledig gemengd systeem, waar eenmaal per dag bijgevuld wordt, zodanig dat de opname van water en zout over het afgelopen etmaal juist wordt gecompenseerd.

Stel dat het systeem slechts eenmaal per etmaal wordt bijgevuld, terwijl de wateropname tot de dag beperkt is en de zoutopname dag en nacht constant doorgaat (Veen, 1977). Om een stationaire toestand te hebben, moet dagelijks de toevoeging van water, w , gelijk zijn aan de wateropname van de plant, en de zouttoevoeging, $c_1 w$, moet gelijk zijn aan de zoutopname. De "opname-concentratie" c_1 zullen we steeds vergelijken met de systeemconcentratie na bijvullen c_s (vergelijk de laatste kolom in tabel 1). In figuur 11a en b is weergegeven hoe het volume water en de hoeveelheid zout in het systeem in de loop van de dag varieert. Het blijkt enig verschil te maken op welk tijdstip van de dag wordt bijgevuld. Daarom vergelijken we vier tijdstippen van bijvullen:



Figuur 11. Een simpel model voor dagelijkse concentratieschommelingen in een goed gemengd systeem bij eenmaal daags bijvullen I----- om 6 uur II-.-.-.- om 12 uur III----- om 18 uur en IV..... om 24 uur. Voor verdere uitleg zie tekst.

Figure 11. A simple model for the daily fluctuations in concentration in a well-mixed system that is replenished once daily I..... at 6 am. II-.-.-.- at 12 noon III----- at 6 pm., and IV..... at 12 midnight. For further explanation, see text.

TABEL III. Concentraties in de loop van de dag bij het in figuur 11 weergegeven model.

TABLE III. Concentrations in the course of the day in the model shown in figure 11.

	tijd 6	12	18	24 uur
systeem I	$\frac{C_5 V - C_1 W}{V - W} \rightarrow C_s$	$\frac{C_5 V - \frac{1}{2} C_1 W}{V - \frac{1}{2} W}$	$\frac{C_5 V - \frac{1}{2} C_1 W}{V - W}$	$\frac{C_5 V - \frac{3}{2} C_1 W}{V - W}$
systeem II	$\frac{C_5 V - \frac{3}{2} C_1 W}{V - \frac{1}{2} W}$	$\frac{C_5 V - C_1 W}{V - W} \rightarrow C_s$	$\frac{C_5 V - \frac{1}{2} C_1 W}{V - \frac{1}{2} W}$	$\frac{C_5 V - \frac{1}{2} C_1 W}{V - \frac{1}{2} W}$
systeem III	$\frac{C_5 V - \frac{1}{2} C_1 W}{V}$	$\frac{C_5 V - \frac{3}{2} C_1 W}{V - \frac{1}{2} W}$	$\frac{C_5 V - C_1 W}{V - W} \rightarrow C_s$	$\frac{C_5 V - \frac{1}{2} C_1 W}{V}$
systeem IV	$\frac{C_5 V - \frac{1}{2} C_1 W}{V}$	$\frac{C_5 V - \frac{1}{2} C_1 W}{V - \frac{1}{2} W}$	$\frac{C_5 V - \frac{3}{2} C_1 W}{V - W}$	$\frac{C_5 V - C_1 W}{V - W} \rightarrow C_s$

I. bijvullen om 6 uur (begin van de dag), II. om 12 uur (midden van de dag), III. om 18 uur (eind van de dag) en IV. om 24 uur (middernacht). In tabel III zijn de concentraties in de loop van de dag geformuleerd voor de vier bijvultijdstippen. In figuur 11 c t/m g zijn getalvoorbeelden uitgewerkt voor variërende verhouding c_1/c_s , steeds bij buffercapaciteit $v/w = 2.5$. Het concentratieverloop hangt sterk af van de verhouding c_1/c_s , die te maken heeft met de buffervoorraad zout in het systeem. c_1/c_s kan variëren van 0 (bij afwezigheid zoutopname) tot de waarde v/w die voorvloeit uit de eis $c_1 w < c_s v$, die te maken heeft met de buffervoorraad zout in het systeem. c_1/c_s kan variëren van 0 (bij afwezigheid zoutopname) tot de waarde v/w die voortvloeit uit de eis $c_1 w \leq c_s v$ (de zoutopname op een dag kan niet groter zijn dan de zoutinhoud van het systeem). In dit traject $0 \leq c_1/c_s \leq v/w$ kunnen we acht gevallen onderscheiden:

1. $0 \leq c_1/c_s < 1$. Zoals het voorbeeld in figuur 11c laat zien, is er een netto-stijging van de concentratie in een etmaal, doordat de stijging gedurende de dag sterker is dan de daling 's nachts. In het randgeval bij $c_1 = 0$ is er stijging overdag tot $c = c_s v / (v-w)$ en geen daling 's nachts.
2. $c_1 = c_s$. Als de dagelijkse zoutopname gedeeld door de wateropname precies overeenkomt met de systeemconcentratie direct na bijvullen, treden toch nog schommelingen op door het verschil in dagritme tussen water- en zoutopname. Wel heft nu de stijging gedurende de dag de daling gedurende de nacht juist op. De hoogste concentraties komen in dit geval bij alle bijvultijdstippen voor aan het eind van de dag, de laagste aan het eind van de nacht. Bij deze concentratieverhouding is het effect van het tijdstip van bijvullen het sterkst. Bijvullen aan het eind van de dag geeft de kleinste schommelingen (III), terwijl bijvullen aan het begin van de dag de grootste schommelingen geeft. Dit is het best te zien bij het extreme geval $V/w = 1$: bij systeem III daalt de concentratie 's nachts tot $c = c_s / 2$, terwijl overdag water en zout beide geheel opraken, met als limietconcentratie $c = c_s$; bij systeem I daarentegen raakt overdag alle water op, terwijl de helft van het zout overblijft, met bijgevolg een oneindig hoge concentratie. In de volgende paragraaf zullen we als maat voor deze concentratieschommelingen gebruiken $c_{\max}/c_{\min}$, de maximaal optredende concentratie gedeeld door de minimale. Voor systeem III bedraagt dit quotiënt in dit geval 2, voor systeem I de waarde oneindig.
3. $1 < c_1/c_s < (2v/w) / (1 + v/w)$. Zoals figuur 11e laat zien, is er nu een netto-daling over het etmaal. Gedurende de dag vindt nog wel een stijging plaats, maar de daling 's nachts overweegt.
4. $c_1/c_s = (2v/w) / (1 + v/w)$. Dit is de grenswaarde waarbij voor systemen II en III overdag de concentratie constant blijft. Voor $v/w = 2.5$ komt dit overeen met $c_1/c_s = 10/7$.
5. $(2v/w) / (1 + v/w) < c_1 / c_s < 2$. Zoals figuur 11f toont, stijgt de

concentratie overdag nog wel als deze van $c = c_s$ uitgaat, maar daalt bij systemen II en III. De minimumconcentraties treden nu steeds op vlak voor het bijvullen.

6. $c_1 / c_s = 2$. Uit figuur 11g blijkt dat op deze grenswaarde de concentraties overdag constant blijven als we uitgaan van $c = c_s$.
7. $2 < c_1 / c_s < v/w$. De concentraties vertonen hier hetzelfde beeld als fig. 11 g, alleen dalen de concentraties voor alle systemen continu.
8. $c_1 / c_s = v/w$. De concentraties dalen nu steeds tot $c = 0$ vlak voor het bijvullen (fig. 11h).

In figuur 11i, zijn de acht onderscheiden gevallen aangegeven, samen met de in fig. 11 c t/m h gegeven voorbeelden. In het als ontoelaatbaar aangeduide gebied zijn de aanwezige hoeveelheid water en/of zout ontoereikend voor de opnamebehoefte in een etmaal.

Om de schommelingen te kunnen vergelijken, die zowel qua amplitude als niveau verschillen, is het dagelijks optredende maximum gedeeld door het dagelijkse minimum, voor alle in figuur 11 voorkomende situaties (vergelijk tabel I, derde kolom). De formules voor $c_{\max} / c_{\min}$ als functie van c_1 / c_s en v/w zijn in tabel IV vermeld. Doordat de tijdstippen waarop maxima en minima optreden geleidelijk verschuiven, veranderen de formules eveneens met toenemende c_1 / c_s .

Figuur 12 geeft $c_{\max} / c_{\min}$ weer voor de vier tijdstippen van bijvullen en voor een serie waarden c_1 / c_s tussen 0 en 2. Voor $c_1 = 0$ en $c_1 = 2 c_s$ geven alle vier bijvultijdstippen hetzelfde verband; voor tussenliggende waarden hangt het verband wel af van het bijvultijdstip. Het bijvullen om 18 uur is dan steeds het gunstigst. In alle gevallen zijn de concentratieschommelingen het kleinst voor $c_1 = c_s$, als opnameconcentratie en systeemconcentraties aan elkaar gelijk zijn. Voor $c_1 < c_s$ is er netto-stijging over het etmaal en wijzen grote $c_{\max} / c_{\min}$ -waarden vooral op een hoge $c_{\max}$. Bij $c_1 > c_s$ is er netto-daling over het etmaal, en grote waarden van $c_{\max} / c_{\min}$ wijzen vooral op een lage $c_{\min}$.

Omdat van hoge zoutconcentraties meer schade te verwachten is dan van lage, zijn de getrokken lijnen in figuur 12 de belangrijkste. We kunnen

TABEL IV. Grootte van de dagelijkse concentratieschommelingen in figuur 12.

$$A = c_{\max}/c_{\min}, \quad x = v/w \quad \text{en} \quad y = c_1/c_s.$$

TABLE IV. Magnitude of the daily fluctuations in the concentrations in

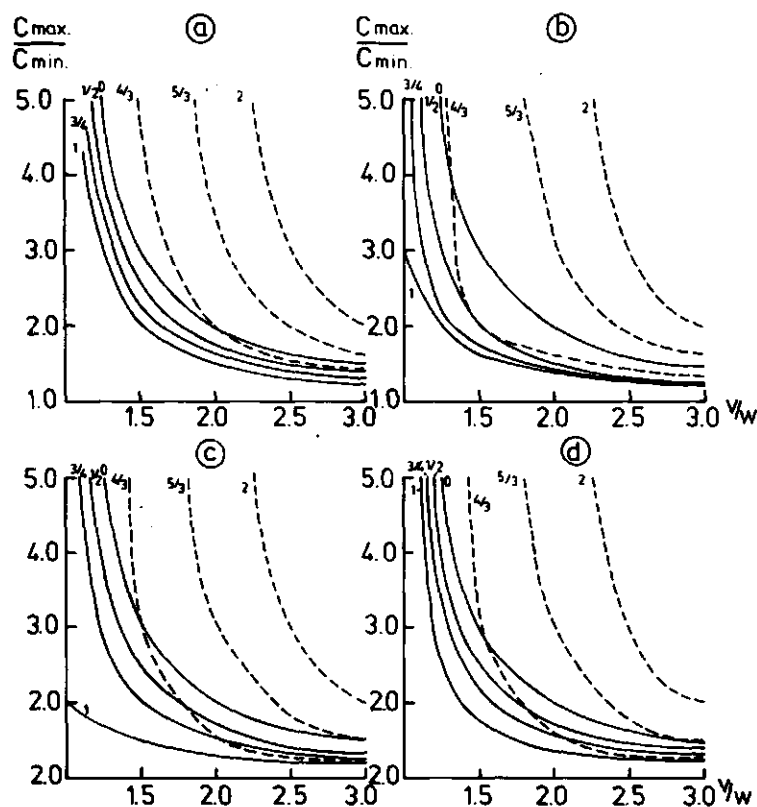
figure 12. $A = c_{\max}/c_{\min}$, $x = v/w$ and $y = c_1/c_s$.

Systeem I	$0 \leq y \leq 1$		$1 \leq y \leq 2$		$2 \leq y$
	$A = \frac{x-1}{x-1}y$		$A = \frac{x-1}{x-y}$		$A = \frac{x-1}{x-y}$
Systeem II	$0 \leq y \leq 2/3$	$\frac{2}{3} \leq y \leq \frac{2x}{3x-1}$	$\frac{2x}{3x-1} \leq y \leq \frac{2x}{x+1}$	$\frac{2x}{x+1} \leq y \leq 2$	$2 \leq y$
	$A = \frac{x-y}{x-1}$	$A = \frac{(x-y)(x-1)}{(x-1)(x-1/2)}$	$A = \frac{x-1}{x-1/2}$	$A = \frac{(x-1)(x-1)}{(x-y)(x-1/2)}$	$A = \frac{x+1}{x-y}$
Systeem III	$0 \leq y \leq 1$		$1 \leq y \leq \frac{2x}{x+1}$		$\frac{2x}{x+1} \leq y$
	$A = \frac{(x-y)x}{(x-1/2)(x-1)}$		$A = \frac{x}{x-1/2}$		$A = \frac{x-1}{x-y}$
Systeem IV	$0 \leq y \leq \frac{4x}{3x+1}$		$\frac{4x}{3x+1} \leq y \leq \frac{4}{3}$		$\frac{4}{3} \leq y$
	$A = \frac{(x-1/2)x}{(x-1/2)(x-1)}$		$A = \frac{x-1/2}{x-y}$		$A = \frac{x-1}{x-y}$

de lijn voor $c_1/c_s = 0$ als veilige grens gebruiken: $c_{\max}/c_{\min} = v/(v-w)$.

De meeste problemen zijn beperkt tot het gebied met $v/w < 1,5$, en met $v/w \geq 2$ hebben we een veilige grenswaarde gesteld.

Uit deze modelbeschouwing volgt dus een eis dat de buffervoorraad van het systeem v/w minstens 1,5 à 2 moet bedragen. Voor tomaten en komkommers, met een dagelijks waterverbruik van ca. 3 l plant⁻¹, moet het systeem dus ca. 6 l voedingsoplossing plant⁻¹ bevatten. Hoe hoger de frequentie van bijvullen wordt, hoe kleiner de buffervoorraad kan zijn, maar dan



Figuur 12. Grootte van de dagelijks optredende concentratieschommelingen ($c_{\max}/c_{\min}$) als functie van de buffervoorraad water in het systeem (v/w) en de concentratieverhouding tussen opname en voedingsoplossing c_1/c_s . a. bij om 6 uur bijvullen, b. om 12 uur, c. om 18 uur en d. om 24 uur. Bij de getrokken lijnen is sprake van netto stijging over het etmaal, bij de onderbroken lijnen netto daling.

Figure 12. Magnitude of the daily fluctuations in concentration ($c_{\max}/c_{\min}$) as a function of the buffering capacity of water in the system (v/w) and the ratio between "uptake concentration" and the system concentration c_1/c_s . a. replenished at 6 am., b. at 12 noon, c. at 6 pm., and d. at 12 midnight. In the case of the solid lines, a net increase occurs in the course of 24 hrs, in the case of the broken lines, a net decrease.

moet wel aan de eis zijn voldaan dat het bijgevoelde vocht de opname juist compenseert. In de tuinbouwpraktijk wordt de EC als maat voor totaal zoutgehalte in principe dagelijks gecontroleerd, maar de concentraties van afzonderlijke elementen slechts eens per twee weken (hoofdelementen) of eens per maand (spoorelementen).

Naarmate een tuinder meer ervaring heeft met steenwolteelten zal hij beter in staat zijn de concentratie van de voedingsoplossing aan het verbruik door de planten aan te passen, ook zonder meting. Hoe groter de ervaring van de tuinder, hoe kleiner de benodigde buffercapaciteit is. Het systeem met 10 l steenwol per plant, die ca. 6 l vocht bevat bij verzadiging, komt overeen met de hierboven geformuleerde eis aan v/w voor tomaten en komkommers. Kleinere systemen zijn mogelijk bij wegspoelen van alle surplus-zouten, zoals in Sappemeer gebeurde, of bij zeer gedetailleerde metingen ter regulatie van de zouthuishouding. Geen van beide mogelijkheden zal opwegen tegen de vrij geringe kostenbesparing van het kleinere volume steenwol. De waterhuishouding van de steenwol, die een sterke hysteresis vertoont, maakt het sterk uitdrogen ervan ongewenst, gezien de moeilijke herbevochtiging. Dit pleit ook voor een ruime buffercapaciteit. Een buffercapaciteit v/w = 2 geeft bovendien aan dat bij technische storingen, zoals het uitvallen van een pomp, een dag beschikbaar is om dit mankement te verhelpen voordat de planten geheel verdrogen.

Deze beschouwingen leiden tot de conclusie dat het minimaal benodigde volume bij de teelt op steenwol wordt bepaald door de benodigde buffercapaciteit. Het door de plant benodigde worteloppervlak van 1 à 2 m² kan nog wel in een veel kleiner volume gerealiseerd worden, zoals bleek in eigen proeven op het IB waarover elders gerapporteerd zal worden. Voorwaarde hiervoor is dan dat de plant constant in goed geaëreerde voedingsoplossing van de juiste samenstelling verkeert. Dit is het best te verwezenlijken in een snel circulerend systeem. Bij steenwol met definitieve afvoer uit het systeem, leidt het nabootsen hiervan tot grote verkwisting.

De hier gegeven maat voor de buffercapaciteit, v/w, geeft waarschijnlijk een goede basis om verschillende teeltsystemen bij verschillende gewassen te vergelijken. Het kan ook dienen als schaalfactor bij voedingsgootproeven, tussen proef- en praktijkschaal.

7. PRAKTISCHE ADVIEZEN

Op grond van de in de voorgaande hoofdstukken gegeven beschouwingen kunnen we de volgende adviezen opstellen voor de praktijk van de steenwolteelt:

- A. Plaatsing van druppelaars en uitstroomopeningen in het plastic: Zoals in figuur 8 aangegeven, kunnen de druppelaars het beste consequent bij de plant gezet worden, met uitstroomopeningen in het plastic dat de steenwol omhult steeds tussen twee druppelaars in, aan weerszijden van de mat. Tijdens de teelt moeten de druppelaars niet verplaatst worden.
- B. Het weg laten lekken van vocht uit de steenwolmat is maar in zeer beperkte mate nodig. Het verdient aanbeveling door meting bij te houden hoeveel vocht weglekt. Het bijhouden van een mineraalbalans tijdens de teelt, zoals in tabel I weergegeven, kan meehelpen verspilling van voedingszouten door uitspoeling te beperken.
- C. Bij gietwater van slechte kwaliteit is doorspoelen nodig, echter niet meer dan uit fig. 10 is af te lezen.
- D. Bij gietwater van slechte kwaliteit is steenwolteelt beter mogelijk dan teelt in voedingsgoten. Als geen ongewenste zouten aanwezig zijn is een recirculerend systeem aan te bevelen, voorzover dit geen planteziektekundige bezwaren oproept.
- E. De benodigde grootte van de steenwolmat per plant wordt vooral bepaald door de benodigde buffercapaciteit voor water en zouten. Naarmate de zoutconcentratie vaker bijgesteld wordt kan met een kleiner systeem worden volstaan. Als voorlopige norm kunnen we aanhouden dat het per plant beschikbare volume voedingsoplossing minstens tweemaal de dagelijkse wateropname per plant moet bedragen. Voor tomaten en komkommers komt dat neer op de huidige ca. 10 l steenwol per plant. Gebruik van een kleiner volume zal gauw leiden tot de noodzaak tot verhoogde uitspoeling ter voorkoming van problemen met zoutophoping.

8. SAMENVATTING

Bij gebruik van steenwol als substraat voor de teelt van tuinbouwgewassen kunnen problemen ontstaan verband houdend met het verdelingspatroon van de voedingsoplossing. In dit rapport wordt het transportproces van de voedingsoplossing beschreven aan de hand van proefnemingen met een kleurstof. Nieuw ingedruppelde voedingsoplossing verdringt het aanwezige vocht in de richting van de afvoerspleet voor overtollig vocht. Een deel van de mat valt buiten de stroombaan en kan als dode hoek aangeduid worden.

Bij studie van beworteling en zoutpatroon in een komkommerteelt op de proeftuin Sappemeer in 1978, bleek dat problemen van zoutophoping niet voorkwamen. Uit een mineraalbalans voor deze proef bleek echter ruim tweederde van de kunstmestzouten de kasgrond ingespoeld te zijn.

Vanuit theoretisch oogpunt wordt aangegeven in welke mate doorspoeling nodig kan zijn bij gebruik van slecht of matig gietwater. Daarnaast blijkt dat eisen gesteld kunnen worden aan de buffercapaciteit van het systeem, ter voorkoming van tijdelijke ophoping van op zichzelf gewenste voedingszouten. Uit een voor dit doel afgeleide theorie blijkt dat, als de vochtcapaciteit van het systeem tweemaal de dagelijkse waterbehoefte bedraagt, geen problemen te verwachten zijn. Kleinere teeltvolumina zullen in de praktijk vaak tot verhoogde uitspoeling leiden. Praktische adviezen worden gegeven over plaatsing van druppelaars en afvoerspleten.

9. SUMMARY

When rockwool is used as a substrate for the culture of horticultural crops, problems may arise in connection with the distribution pattern of the nutrient solution. This report gives a description of the transport process on the basis of experiments with a dye. Fresh, dripped-in nutrient solution displaces the liquid present into the direction of the discharge slit for excess liquid. Parts of the mat are not included in the flow pattern and may be regarded as dead corners. In 1978, a study on root growth and salt patterns in a cucumber culture at the Experimental Garden Sappemeer indicated that problems due to salt accumulation did not occur. However, a balance sheet for the minerals supplied in this experiment showed that more than two-thirds of the fertilizer salts had leached out into the greenhouse soil.

On a theoretical basis, it is indicated to what extent flushing may be necessary when irrigation water of poor quality is used. In addition, it is concluded that standards may be set for the buffering capacity of the system, to prevent temporary accumulation of nutrient salts that are desirable by themselves. A theory derived for this purpose indicates that no problems are to be expected when the moisture holding capacity of the system is twice the daily water requirement. Smaller culture volumes will often lead to increased leaching. Practical recommendations are given for the positioning of drippers and discharge slits.

10. LITERATUUR

- Brouwer, G. en M. van Noordwijk, 1978. Het met zoutzuur vrijspoelen van wortels uit steenwol en het effect daarvan op het wortelgewicht. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp. 4-78, 11 pp.
- Hamaker, Ph. en A.A.M. van der Burg, 1978. De water- en mineralenbalans van een glastuinbouwbedrijf in de periode 1976/77. ICW nota 1072.
- Noordwijk, M. van, 1978. Zoutophoping en beworteling bij de teelt van tomaten op steenwol. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp. 3-78, 21 pp.
- Noordwijk, M. van, 1979. Fysische en chemische eigenschappen van steenwol als substraat voor plantenteelt zonder aarde. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 73, 25 pp.
- Raats, P.A.C., 1974. Movements of water and salt under high frequency irrigation. Proc. 2nd Int. Drip Irrig. Congr., San Diego, Calif. July 7-14, 1974.
- Roorda van Eijsinga, J.P.N.L., 1965. Onttrekking van voedingselementen aan de grond door komkommers. Proefstn. Groenten- en fruitteelt onder glas te Naaldwijk, Jaarverslag 1964: 35-38.
- Sonneveld, C. en A. van der Wees, 1980. Voedingsoplossingen voor de teelt van tomaten in steenwol. Proefstn. Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk, Rapp. 63.
- Steiner, A.A., 1966. The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. Plant Soil 24: 454-465.
- Tucker, D.J., 1977. Plant hormones and root development of tomatoes grown in nutrient film. Glasshouse Crops Res. Inst. Littlehampton, Annu. Rep. 1976: 148-154.
- Veen, B.W., 1977. The uptake of potassium, nitrate, water and oxygen by a maize root system in relation to its size. J. Exp. Bot. 28: 1389-1398.
- Wees, A. van der, 1978. Onderzoek naar de bemonsteringstechniek in steenwolmatten (komkommerteelt). Proefstn. Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk. Intern verslag no. 6/1978.